

УДК 621:681.5

АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫБОРА КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

канд. техн. наук **Е.З. ЗЕВЕЛЕВА**
(Полоцкий государственный университет);

канд. техн. наук **В.А. ГАЙКО**
(Президиум НАН Беларуси, Минск);

В.И. БОРОДАВКО, А.М. ПЫНЬКИН
(Государственное научно-производственное объединение «Центр», Минск)

Рассмотрена системная модель технологии, представлена классификация методов обработки. Предложено для формализации условий целенаправленного формирования новых методов обработки каждую совокупность одноименных компонентов описывать как некоторое множество технологических решений, в качестве критериев выбора использовать свойства конструкторско-технологических решений, а значения этих свойств рассматривать как значения критериев выбора; в качестве целевой функции использовать критерии процессов совместного действия конструкторско-технологических факторов. Рекомендовано при создании новых технологических приемов и методов формообразования представлять процессы обработки, формообразования и методы обработки в виде кортежей; при выборе конструкторско-технологических решений электрофизической обработки рациональные параметры унификации принимать либо аналитически по электрофизическим и термомеханическим критериям переноса, либо статистически по массивам информации о конкретной производственной системе с учетом технико-экономического анализа.

Введение. Перспективным направлением в машиностроении, приборостроении и электронике является создание и внедрение в производство новых методов обработки (МО), основанных на сочетании в одном процессе различных видов энергии или различных способов воздействия на обрабатываемый материал.

В общем виде системная модель технологии [1] представляется в виде трех входных потоков: матери, энергии, информации.

Метод обработки целесообразно рассматривать в виде подсистем – энергетической и информационной. Энергетическая подсистема доставляет и преобразует энергию, необходимую для электрофизического и термомеханического воздействия на заготовку с целью изменения ее физико-механических свойств, отделения или нанесения материала. Эта подсистема определяется видом процесса обработки (ПО). Информационная подсистема управляет потоками энергии и материалов, обеспечивая их доставку в необходимом виде и количестве в заданное место рабочего пространства с целью создания определенной формы, размеров и качества поверхности детали.

Определение метода обработки. Под методом обработки понимается совокупность энергетических и информационных процессов, направленных на изменение формы, размеров, качества поверхности и физико-механических свойств [1]. Процесс обработки рационально представить в виде цепочки преобразования энергии [2, 3]:

$$ПО = \{ \mathcal{E}_{\text{раб.}} \Rightarrow \mathcal{E}_{\text{возд.}} \Rightarrow M_{\text{ф.х.}} \}, \quad (1)$$

где $\mathcal{E}_{\text{раб.}}$ – рабочая энергия; $\mathcal{E}_{\text{возд.}}$ – энергия воздействия; $M_{\text{ф.х.}}$ – вид физико-химического механизма (электрофизический, электрохимический, термомеханический и др.).

Процесс целесообразно рассматривать как некоторую энергетическую систему, доставляющую энергию, необходимую для формирования поверхности или обрабатываемого объекта в целом, и преобразующую ее из одного состояния заготовки в другое, соответствующее новому качеству.

Преобразование энергии происходит в несколько этапов:

- первый этап – преобразование первичного вида энергии в рабочую ($\mathcal{E}_{\text{раб.}}$), происходит с помощью устройства преобразователя энергии, т.е. с помощью технологического оборудования;
- второй этап – при воздействии на обрабатываемый объект рабочая энергия превращается в энергию воздействия ($\mathcal{E}_{\text{возд.}}$);
- третий этап – энергия воздействия приводит к образованию физико-химических механизмов обработки заготовки. Вид физико-химического механизма является главным элементом, преобразующим основные показатели МО, такие как характер обработки, производительность, энергозатраты и т.п. [2, 3].

Процессы формообразования (ФО) характеризуются способом подвода энергии ($C_{п.э.}$) в пространстве, видом распределения энергии во времени ($B_{р.э.}$) и схемой движения формообразования, т.е. кинематической схемой обработки ($K_{с.о.}$) [2, 3]:

$$FO = \{C_{п.э.}, B_{р.э.}, K_{с.о.}\}. \quad (2)$$

Составляющие процесса ФО характеризуются определенными признаками: для $C_{п.э.}$ – это точечный, линейный, поверхностный, объемный источник; для $B_{р.э.}$ – непрерывное, пульсирующее, импульсное воздействие; для $K_{с.о.}$ – прямолинейное, вращательное, два прямолинейных, вращательно-поступательное движение или его отсутствие.

В результате все МО подразделяются:

- во-первых, на три класса: без съема и со съемом материала, с нанесением материала;
- во-вторых, для каждого выделяются подклассы, характеризующие виды используемой при обработке энергии;
- в-третьих, МО характеризуются физико-механическим механизмом ПО;
- в-четвертых, разновидность методов определяется видом используемого инструмента и кинематикой обработки [1].

На основании данной классификации созданы обобщенные модели метода обработки, обычно представляемые [2, 3] аналитическим выражением вида:

$$MO = \{H_{м.о.}, ОП_{м.о.}, Э_{раб.}, Э_{возд.}, M_{ф.х.}, K_{с.о.}, B_{р.э.}, C_{п.э.}, S, T\}, \quad (3)$$

где $H_{м.о.}$ и $ОП_{м.о.}$ – наименование и область применения МО соответственно; $Э_{раб.}$ – энергия, подводимая в зону обработки; $Э_{возд.}$ – энергетический режим процесса формообразования; $M_{ф.х.}$ – способ воздействия на материал заготовки; $K_{с.о.}$ – кинематическая схема обработки; $B_{р.э.}$ – динамические характеристики процесса обработки; $C_{п.э.}$ – способ подвода энергии в зону обработки; S – схема базирования и закрепления заготовки; T – обрабатывающий инструмент.

Формулы (1)...(3) целесообразно использовать при создании новых технологических приемов и методов формообразования. Они дают достаточно полное и наглядное представление о структуре и составе компонентов ПО, ФО и МО, но не позволяют проводить над собой каких-либо логических операций и преобразований.

Для формализации условий целенаправленного формирования новых МО каждая совокупность одноименных компонентов r_i описывается как некоторое множество технологических решений R_i . Такой подход [3] позволяет любой метод обработки $r_{м.о.}$ представить в виде кортежа:

$$r_{м.о.} = (r_{пов.}, r_m, r_{обл.}, r_{в.м.}, r_{э.п.}, r_{н.м.о.}, r_{с.п.э.}, r_{и.э.}, r_{р.э.}, r_m, r_k, r_s). \quad (4)$$

Каждый элемент кортежа (4) является элементом соответствующего множества конструкторско-технологических решений, т.е. $\{r_i\} = R_i$ или $r_i \in R_i$, где множества R_i и их элементы имеют следующие обозначения:

$R_{пов.} = \{r_{пов.}\}$ – обрабатываемые поверхности детали;

$R_m = \{r_m\}$ – обрабатываемые материалы;

$R_{обл.} = \{r_{обл.}\}$ – области применения МО;

$R_{в.м.} = \{r_{в.м.}\}$ – способы воздействия на материал заготовки;

$R_{э.п.} = \{r_{э.п.}\}$ – виды энергии, подводимой в зону обработки;

$R_{н.м.о.} = \{r_{н.м.о.}\}$ – наименования МО;

$R_{с.п.э.} = \{r_{с.п.э.}\}$ – способы подвода энергии в зону обработки;

$R_{и.э.} = \{r_{и.э.}\}$ – источники энергии;

$R_{р.э.} = \{r_{р.э.}\}$ – энергетические режимы обработки;

$R_m = \{r_m\}$ – обрабатывающие инструменты;

$R_k = \{r_k\}$ и $R_s = \{r_s\}$ – соответственно кинематические и статические схемы обработки.

Анализ взаимосвязей между конструкторско-технологическими решениями МО позволяет определить на множестве $R_{м.о.}$ ряд отношений H_i :

$(r_{пов.}, r_m)H_1r_{обл.}$;

$r_{обл.}H_2r_{в.м.}; (r_{пов.}, r_m)H_3r_{в.м.}$;

$r_{в.м.}H_4r_{э.п.}; (r_{в.м.}, r_{э.п.})H_5r_{н.м.о.}$;

$(r_{с.п.э.}, r_{э.п.})H_6r_{и.э.}; r_{с.п.э.}H_7r_{р.э.}$;

$(r_{пов.}, r_{в.м.}, r_{э.п.}, r_{с.п.э.})H_8r_m$;

$(r_{с.п.э.}, r_m)H_9r_k; (r_{пов.}, r_k)H_{10}r_s$.

Отношение H_1 выделяет на множестве:

$R_{м.о}$ – область применения МО;

H_2 и H_3 – способ воздействия на материал заготовки;

H_4 – вид энергии, подводимой в зону обработки;

H_5 – наименование метода обработки;

H_6 – источник энергии;

H_7 – энергетический режим обработки;

H_8 – обрабатывающий инструмент;

H_9 и H_{10} – соответственно кинематическую и статическую схемы обработки.

Для задания каждого отношения H_i в виде определенной формулы или совокупности формул целесообразно использовать соответствующую функцию выбора.

Анализ выбора конструкторско-технологических решений. В качестве критериев выбора можно использовать свойства конструкторско-технологических решений, а значения этих свойств рассматривать как значения критериев выбора.

Наличие конкретного свойства α у конструкторско-технологического решения r_i выражается с помощью соответствующего предиката

$$E_\alpha(r_i), \quad (5)$$

утверждающего, что решение r_i обладает свойством α [2].

Каждое свойство α может принимать множество значений θ_α . Тогда выражение

$$E_\alpha(r_i) \wedge \theta_\alpha \quad (6)$$

означает, что конструкторско-технологическое решение r_i обладает свойством α , и значение этого свойства есть θ_α .

Предикат (5) позволяет выбирать конструкторско-технологические решения с заданным свойством для последующего отбора с помощью формулы (6) только тех решений, которые обладают определенным значением этого свойства.

В общем случае конструкторско-технологическое решение r_i может иметь целый ряд свойств $\alpha, \delta, \dots, \gamma$, и каждое из этих свойств может принимать ряд значений, что выражается формулой:

$$\forall r_i \exists \alpha \exists \delta \dots \exists \gamma \{ [E_\alpha(r_i) \wedge (\bigvee_{j=1}^n \theta_{\alpha j})] \wedge [E_\delta(r_i) \wedge (\bigvee_{k=1}^m \theta_{\delta k})] \wedge \dots \wedge [E_\gamma(r_i) \wedge (\bigvee_{p=1}^q \theta_{\gamma p})] \}, \quad (7)$$

где \forall и \exists – кванторы всеобщности и существования соответственно.

Между значениями свойств решения r_i могут существовать определенные взаимосвязи, и не всякое их сочетание является допустимым, т.е. если конструкторско-технологическое решение r_i обладает свойством α и значение этого свойства $\theta_{\alpha n}$, то оно r_i обладает и свойством δ , значение которого определяется множеством $\theta_{\delta pj}$.

Подобная ситуация описывается формулой:

$$\exists \alpha \exists \delta \forall r_i [E_\alpha(r_i) \wedge \theta_{\alpha n} \rightarrow E_\delta(r_i) \wedge (\bigvee_{j=1}^k \theta_{\delta pj})]. \quad (8)$$

Утверждая, что если два любых компонента МО обладают хотя бы одним общим свойством, то между ними существует связь по общности свойств, которая дает возможность организовать выбор конструкторско-технологических решений по эквивалентности и предпочтению [4].

По эквивалентности выбираются разноименные решения, которые по совокупности своих свойств должны соответствовать друг другу:

$$\exists \alpha \forall r_i \forall r_j [E_\alpha(r_i) \wedge E_\alpha(r_j) \wedge (\theta_\alpha^{r_i} = \theta_\alpha^{r_j}) \rightarrow (r_i \approx r_j)]. \quad (9)$$

По предпочтению выбираются решения из числа одноименных, обладающих наилучшими значениями необходимых свойств:

$$\exists \theta_\alpha \forall r_{i1} \forall r_{i2} [E_\alpha(r_{i1}) \wedge E_\alpha(r_{i2}) \wedge (\theta_\alpha^{r_{i1}} h \theta_\alpha^{r_{i2}}) \rightarrow (r_{i1} \approx r_{i2})], \quad (10)$$

где h – символ отношения предпочтения, который может принимать значения: «>», «≥», «<», «≤».

Такой подход согласно (9) и (10) позволяет формализовать условия выбора некоторого решения r_i по конкретному значению установленного критерия выбора t_q :

$$(\theta_{\alpha}^i h t_q). \quad (11)$$

Тогда совокупность предикатов вида (11) позволяет выбрать решение r_i по нескольким критериям выбора $t_{q1}, t_{q2}, \dots, t_{qn}$, которые соответствуют n различным свойствам решения r_i . В этом случае условие выбора решения r_i принимает вид:

$$\bigwedge_{j=1}^n (\theta_{\alpha_j}^i h t_{qj}). \quad (12)$$

Применение формулы (12) в задачах выбора разноименных конструкторско-технологических решений, обладающих различными свойствами α и δ , между которыми существует связь по взаимной зависимости свойств, т.е. выполняется условие: $E_{\alpha}(r_i) \rightarrow E_{\delta}(r_j)$, позволяет организовать выбор решений:

$$\exists \theta_{\alpha} \forall r_i \forall r_j [E_{\alpha}(r_i) \wedge E_{\delta}(r_j) \wedge (\theta_{\alpha}^i h_1 t_1) \wedge (\theta_{\delta}^j h_2 t_2) \rightarrow (r_i \approx r_j)]. \quad (13)$$

Однако в общем случае условие (13) не выполняется, так как часто неизвестны взаимосвязи свойств решений r_i и r_j : $E_{\alpha}(r_i) \rightarrow E_{\delta}(r_j)$.

Стабилизация параметров качества обработки. При обосновании выбора конструкторско-технологических решений и синтезе комбинированных методов, совмещающих электрофизические и термомеханические воздействия, необходимо учитывать стабильность формирования параметров качества обработки и рассматривать механизмы управления устойчивостью технологического процесса путем применения обратных связей между механизмами воздействия [5]. Поэтому в качестве целевой функции вместо конкретных значений совокупности критериев выбора $t_{q1}, t_{q2}, \dots, t_{qn}$ предлагается использовать критерии процессов совместного действия конструкторско-технологических факторов.

Условия, обеспечивающие самоорганизацию технологических воздействий и стабилизацию формирования параметров качества обработки, являются следствием избыточности по структурному составу рассматриваемой технологической системы [6] и требуют рационального выбора определяющих факторов.

Соотношение надежности/устойчивости и адаптивности/эволюции может служить критерием, позволяющим принять решение о рациональной структуре стационарного технологического комплекса.

В самоорганизующихся системах можно управлять адаптивностью и надежностью, изменяя число подсистем или их параметров [7].

Каждая подсистема i производства с фиксированным числом характеристик имеет выходы: строго определенный, детерминированный q_1 и флуктуирующий с рассеянными характеристиками q_2 .

Полный выход подсистемы в первом приближении с учетом аддитивности информационных и материальных потоков

$$q^{(i)} = q_1^{(i)} + q_2^{(i)}. \quad (14)$$

Считая, что в условиях реального производства $q^{(i)}$ – независимая случайная величина, полная величина выхода

$$Q = \sum_{i=1}^n q^{(i)}. \quad (15)$$

Полный выход (14), согласно предельной центральной теореме [7], растет пропорционально числу подсистем или их параметров n , в то время как величина рассеяния растет пропорционально \sqrt{n} . Эти оценки основаны на анализе линейного соотношения (15). На самом же деле обратная связь, присущая технологическим системам электрофизической обработки, в которых процессы движения информационных и энергетических потоков носят кооперативный характер, приводит к еще более значительному подавлению рассеяния характеристик.

Заключение. Управление надежностью и адаптивностью гибкой системы электрофизической обработки на этапе проектирования оборудования в виде замкнутых технологических комплексов для открытого виртуального производства должно осуществляться путем ограничения номенклатуры универсальных производственных модулей и средств их технологического оснащения с последующей унифика-

цией номенклатуры объектов и процессов производства. Рациональные параметры унификации при выборе конструкторско-технологических решений электрофизической обработки принимаются либо аналитически по электрофизическим и термомеханическим критериям переноса, либо статистически по массивам информации о конкретной производственной системе с учетом технико-экономического анализа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Подураев, В.Н. Технология физико-химических методов обработки / В.Н. Подураев. – М.: Машиностроение, 1985. – 264 с.
2. Голоденко, Б.А. Организация целенаправленного формирования новых методов комбинированной обработки / Б.А. Голоденко, В.П. Смоленцев // Вестн. машиностроения. – 1994. – № 4. – С. 25 – 28.
3. Ящерицын, П.И. Основы проектирования технологических комплексов в машиностроении / П.И. Ящерицын, Л.М. Акулович, М.Л. Хейфец. – Минск: Технопринт, 2006. – 248 с.
4. Интеллектуальное производство: состояние и перспективы развития / под общ. ред. М.Л. Хейфеца и Б.П. Чемисова. – Новополоцк: ПГУ, 2002. – 268 с.
5. Гленсдорф, П. Термодинамическая теория структуры устойчивости и флуктуации / П. Гленсдорф, И. Пригожин. – М.: Мир, 1973. – 280 с.
6. Артоболевский, И.И. Основы синтеза систем машин автоматического действия / И.И. Артоболевский, Д.Я. Ильинский. – М.: Наука, 1983. – 280 с.
7. Хакен, Г. Синергетика / Г. Хакен. – М.: Мир, 1980. – 404 с.

Поступила 26.02.2010

AUTOMATION IN ENGINEERING AND DESIGN DECISION CHOICE AT ELECTROPHYSICAL MACHINING

E. ZEVELEVA, V. GAIKO, V. BORODAVKO, A. PYNKIN

A system model of technology and classification of processing methods is considered. It is suggested to describe each aggregate of similar components as a certain multitude of engineering decisions for formalization of conditions of task-oriented formation of new processing methods; to use properties of engineering and design decisions as selection criteria, and to view the values of these properties as the values of selection criteria; to use criteria of joint action processes of engineering and design factors as an objective function. It is recommended to represent processing and shaping procedures, processing methods as tuples at creation of new processing techniques and shaping methods; when choosing engineering and design decisions at electrophysical machining to take rational unification characteristics either analytically in terms of electrophysical and thermomechanical transfer criteria, or statistically in terms of data on a certain production system taking into account technical and economic analysis.